第 37 卷第 11 期 生 态 学 报 Vol.37,No.11
2017 年 6 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Jun.,2017

DOI: 10.5846/stxb201604180718
李培培,汪强,文倩,李慧,吴传发,熊伟东,韩燕来.不同还田方式对砂质潮土理化性质及微生物的影响.生态学报,2017,37(11):3665-3672.
Li P P, Wang Q, Wen Q, Li H, Wu C F, Xiong W D, Han Y L.Effects of the return of organic materials on soil physical and chemical properties and bacterial number in sandy soil.Acta Ecologica Sinica,2017,37(11):3665-3672.

不同还田方式对砂质潮土理化性质及微生物的影响

李培培,汪 强,文 倩,李 慧,吴传发,熊伟东,韩燕来*
河南农业大学,资源与环境学院, 郑州 450002

摘要:为探索不同物料还田方式对中低产田砂质潮土的改良效果,在黄淮海平原麦玉轮作区典型砂质潮土上进行了连续 6 季的田间小区试验,设置全量秸秆翻耕还田(TS),秸秆等碳量的生物炭(TB)及半量秸秆半量生物炭配合翻耕还田(TSB),全量秸秆免耕覆盖还田(NTS)和半量秸秆半量生物炭配合免耕覆盖还田(NTSB),共 5 种还田方式。结果表明,与常规秸秆翻耕还田(TS)相比,生物炭翻耕还田(TB)显著降低土壤容重,增加玉米各个生育期土壤水分和 pH 值,有机质含量提升了 16.4%,但 TB 处理的土壤大团聚体降低了 21.2%和微生物数量降低了 16.1%;翻耕秸秆配合生物炭还田(TSB)除了显著降低了大团聚体数量,对其余理化及微生物指标的影响均不显著;免耕模式下的秸秆还田(NTS)和秸秆生物炭配施(NTSB)分别在玉米生长的喇叭口期和收获期显著增加了土壤水分含量、耕层土壤的微生物数量和有效降低砂质潮土分形维数,对容重和有机质含量有一定的改善,其中 NTSB 有机质含量提升了 14.9%和微生物数量增加了 53.7%,对砂质潮土改良效果更好。总体来说,短期内用等碳量的生物炭替代秸秆翻耕还田更多的表现为物理的掺混效应,虽能有效提升土壤有机质含量,但不能有效改善砂质潮土的物理结构及生物性质,一半秸秆用生物炭替代还田对该类土壤的理化及微生物指标的改良效果也不显著,而免耕条件下秸秆配合生物碳还田效果最佳,可为砂质潮土的改良提供新的途径和理论依据。

关键词:免耕覆盖;砂质潮土;秸秆还田;生物炭;土壤团聚体;细菌 16S rDNA

Effects of the return of organic materials on soil physical and chemical properties and bacterial number in sandy soil

LI Peipei, WANG Qiang, WEN Qian, LI Hui, WU Chuanfa, XIONG Weidong, HAN Yanlai*
College of Resource and Environmental Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, *China*

Abstract: Sandy soils have limitations for growing crops. In general, those soils have poor structural traits, low fertility, and little organic matter. Agricultural practices influence the physical and chemical characteristics of soil and induce changes in soil microbial structure and function. It was important to determine a conventional agricultural practice to improve the quality of soil and solve the problem of the reduced productivity. The effects of different tillage practices on physical, chemical, and microbial properties of the soil have been studied. Organic matter is crucial for soil productivity and its quantity depends heavily on soil management systems. Returning crop straw to fields is one of the common practices to improve soil organic matter and achieve sustainable development of agriculture. Biochar, a solid elemental carbonaceous material, formed from the thermochemical conversion of biomass in an oxygen-limited environment, is a much more durable form of C than parent plant biomass or most forms of C in soil organic matter. Hence, the application of biochar to soil has been proposed for increasing the stable C pool and improving physical and chemical properties of soil. No-tillage and direct seeding are believed to be more sustainable than conventional practices, mainly because they improve nutrient status and

基金项目:国家自然科学基金项目(41401273,41401274);国家"十二五"农村领域科技计划项目(2012BAD05B0207);郑州科技创新团队项目(131PCXTD610)
收稿日期:2016-04-18; **网络出版日期**:2017-02-22
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: hyanlai@126.com

water conservation. Although there have been many studies that referred to no-tillage and straw return or biochar application separately, the combined effects of various tillage and organic materials returned to sandy soil in the Huanghuaihai Plain requires further research. To address the adverse physical and chemical characteristics of the soil, a field experiment was conducted in a sandy fluvo-aquic soil in a village near Xinzheng City, Henan Province, to assess the effect of five methods of organic material return. The five methods were equivalent in the amount of carbon application, and included conventional tillage combined with straw return (TS), conventional tillage combined with biochar application (TB), conventional tillage combined with half straw and half biochar application (TSB), no-tillage combined with straw cover (NTSB), and no-tillage combined with half straw and half biochar cover (NTSB). The results indicated that compared with TS, the most popular local agricultural practice, TB significantly decreased soil bulk density, and increased soil water content and pH value. The soil quality index of soil organic matter increased by 16.4%. However, TB decreased the soil macroaggregate number and bacterial gene copy number by 21.2% and 16.1%, respectively. Compared with the available carbon component of straw, the chemical stability of biochar decreased microbial growth to some extent. TSB without any significant effect on soil chemicals or microbial shifts could significantly decrease soil macroaggregate number. NTS and NTSB, the two no-tillage practices could significantly increase the soil water content in the maize growing stages, bell mouth and ripening, separately, and NTSB dramatically increased bacterial number and soil organic matter by 53.7% and 14.9%, respectively, and decreased the soil fractal dimension, which increased the amount of macroaggregates and its stability. Compared with the common practice of conventional tillage with straw return, no-tillage combined with straw and biochar return is an effective way to change physical, chemical, and microbial properties of sandy soil, and the results will provide some theoretical basis for improving other low-yield soils.

Key Words: tillage; sany soil; straw returning; biochar; soil aggregate; bacterial 16S rRNA gene

黄淮平原砂质潮土面积 203.1×10^4 hm^2,该类型土壤砂粒含量高,有机质含量低,保肥保水能力差,作物产量不高[1]。探寻有效的土壤改良方式,改善其理化性质及微生物群落结构,培肥土壤,对该区域粮食产量和农业可持续发展具有重要作用。秸秆还田作为一项传统的农艺措施能有效增加土壤有机质含量和作物产量,不同耕作方式下的秸秆还田也有很多研究,秸秆覆盖或翻埋在保持水土,改善土壤团聚体结构、提高土壤肥力和微生物活性方面效果也很显著[2-3]。大量研究表明耕作方式影响土壤的理化结构,其中免耕作为一项保护性耕作与传统翻耕相比减少土壤扰动,可有效抑制水分的蒸散从而增加土壤水分含量,在改良土壤和培肥地力等方面得到广泛认可[4-5]。除了秸秆翻耕和覆盖还田,近几年生物炭的施用在培肥土壤、治理污染和改善土壤理化结构等方面的效果日益引起了研究者的重视,成为当前土壤研究的热点,为保肥增产、保护环境和改良土壤提供了新的研究途径和方法[6-8]。尽管秸秆覆盖、秸秆翻埋还田及生物炭还田在各类土壤改良或培肥地力上分别有很多研究报道,然而结合上述不同耕作模式下秸秆配合生物炭还田对区域性砂质潮土改良的效果,尚不清楚。因此本文结合传统技术和当前研究热点,以黄淮海平原麦玉轮作区中低产田砂质潮土为研究对象,连续开展土壤培肥研究,对于指导黄淮海地区砂质潮土培肥改良的方法创新上具有重要的实践意义。

1 材料与方法

1.1 试验地

试验设置在河南省新郑市航空港区华北小麦-玉米轮作营养与施肥科学观测试验站内进行。该地区地处黄河流域,全年气候温和湿润,四季分明。平均气温 14.2℃,最高 42.5℃,最低-12.9℃。无霜期年平均 233 d,年均降雨量 676.1 mm,最大降水量 1083 mm,6—9 月份降雨量占全年降雨量的 64%。采用华北典型的小麦-玉米一年两熟种植方式。土壤类型为砂质潮土,其基本理化性质为:有机碳含量 10.1 g/kg,碱解氮 32.62 mg/kg,有效磷 19.4 mg/kg,速效钾 75.0 mg/kg pH 为 7.2;0—60 cm 土壤机械组成为,砂粒 81.28%,粉粒 12.94%,

粘粒 5.77%。

1.2　生物炭

试验用生物炭购自商丘三利生物能源有限公司,原料为小麦秸秆,经厌氧 500℃ 炭化而成。其基本性质为:总碳含量 510.6 g/kg,C/N 为 68.1,pH 为 9.7。

1.3　试验设计和样品采集

2013 年 6 月小麦收获后进行整地划分小区。试验设置①常规翻耕,全量秸秆还田(TS),为传统模式;②常规翻耕,等碳量生物炭还田(TB);③常规翻耕,半量秸秆半量生物炭还田(TSB)(秸秆和生物炭的碳量分别占一半,混合配施);④免耕模式,全量秸秆覆盖还田(NTS);⑤免耕模式,半量秸秆半量生物炭覆盖(NTSB),共 5 个不同物料还田方式。每个处理设置 3 个重复,随机区组排列,小区面积为 6 m×3 m = 18 m^2,为阻断水分和养分的移动,小区间用厚 3 mm 厚的塑料板隔开,隔板深度为 60 cm。试验开展后,每年小麦和玉米收获后连续实施上述 5 种耕作和还田处理。各小区化肥施用量一致,均为每季纯 N 180 kg/hm^2、P_2O_5 120 kg/hm^2、K_2O 60 kg/hm^2,磷钾肥全部在小麦、玉米播种时一次性底施,氮肥 60%作基肥,40%作追肥在小麦拔节期和玉米大喇叭口期追肥沟施,追肥后立即灌水。小麦品种为周麦 17、玉米品种为郑单 958。其他农田栽培管理措施与当地农民管理习惯一致。

采样时间为 2015 年 6 月—9 月玉米季,试验开展的第 6 季。包括 2015 年 6 月、7 月、8 月和 9 月的玉米苗期、喇叭口期、开花期和收获期的土壤样品。采用“S”形取样法采集试验点 0—20 cm 和 20—40 cm 土层土壤样品,每个小区采集 10 钻作为待测样品,然后用无菌袋密封保存带回实验室做后期的处理分析。用于微生物分析的土壤样品带回实验室后冻干-20℃ 保藏。在玉米收获期进行原状土样的采集用于土壤团聚体结构分析,用铁锹多点采取 0—20 cm 表层土壤,尽量避免挤压,以保持原状土壤结构。在室内沿自然结构轻轻掰成直径约 1cm 的小土块,除去植物残体、石块及蚯蚓等。

1.4　土壤物理化学指标

土壤容重用环刀法测定,土壤水分的测定用烘干法,土壤团聚体结构分级用干筛法[9]分离出>5、5—2、2—1、1—0.5、0.5—0.25、<0.25 mm 共 6 级团聚体。土壤有机质的测定采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法,土壤 pH 值的测定用水土比 2.5∶1 的蒸馏水浸提,用 pH 计测定。

1.5　土壤微生物总 DNA 的提取

土壤 DNA 采用 Fast DNA Spin Kit for Soil (Qbiogene, Carlsbad, CA, USA) 的试剂盒提取,称取 0.5 g 冷冻干燥土壤样品,按试剂盒上的操作说明进行土壤微生物总 DNA 的提取。DNA 提取后于-20℃ 保存待用,所有 DNA 均稀释到 10 μg/mL 用于下游实验。

1.6　细菌 **16**Sr RNA 定量 PCR 分析

不同处理土壤细菌的丰度通过定量分析 16Sr DNA 基因拷贝数来实现,定量 PCR 分析分析均采用 SYBR Green 法,反应在 iCycle iQ5(Bio Rad, USA)仪器上进行。PCR 反应体系为 25 μL,包含 12.5 μL SYBR Premix Ex TaqTM(TaKaRa, Japan),10 μmol/L 正反向引物各 0.5 μL,DNA 模板 2 μL,其余用 ddH_2O 补足至 25 μL 。定量 PCR 所用的细菌 16S rRNA 扩增引物为 1369F/1492R[10],其反应条件参考 Wang 等的方法进行[11]。每个样品 3 次重复。

1.7　数据分析

所得试验数据采用 Excel 2007 软件进行作表、作图,采用 DPS7.05 统计软件进行处理间差异显著性检验分析(LSD 法,5%显著水平)。土壤团聚体和微团聚体的分形维数的计算采用杨培岭等[12]推导的公式。

2　结果与分析

2.1　不同处理对砂质潮土容重的影响

经过连续 6 季的定位试验,不同处理间土壤容重发生了变化(图 1),传统秸秆翻耕还田 TS 的容重为

1.42 g/cm³,与之相比 TB 容重显著降低,降低为 1.33 g/cm³,TSB 容重降低为 1.37 g/cm³, NTS 容重为 1.40 g/cm³,NTSB 处理的容重为 1.36 g/cm³。添加全量生物炭对砂质潮土容重的影响最大,显著降低了土壤容重,免耕模式也有利于降低砂质潮土容重,但与 TS 相比没有达到差异显著水平。

2.2 对砂质潮土耕层土壤水分的影响

连续测定玉米苗期、喇叭口期、开花期和收获期的水分状况,见图 2。由图可知,在玉米苗期,喇叭口期和开花期 TB 处理含水量都最高,说明全量生物炭替代秸秆翻耕还田能显著提高砂质潮土的持水能力,提高土壤含水量,尤其在水分含量高的喇叭口期和开花期。所有处理中,常规秸秆翻耕还田 TS 处理的土壤含水量最低,NTSB 也能显著提高土壤含水量,在玉米喇叭口期和收获期与 TS 相比都达到差异显著水平(P<0.05)。施用生物炭和免耕均能有效提高砂质潮土含水量,全量生物炭还田效果最佳。

2.3 不同处理对砂质潮土 pH 值的影响

不同处理显著影响了砂质潮土 0—20 cm 土层 pH 值,但对 20—40 cm 土壤 pH 值影响不大(图 3)。与传统翻耕秸秆还田 TS 相比,施用生物炭增加了 0—20 cm 土层 pH 值,其中 TB 为 7.3 显著高于其他处理,而不同耕作模式下半量生物炭处理的 TSB 和 NTSB 与 TS 处理差异不显著,NTS 处理 pH 值最低为 6.4。

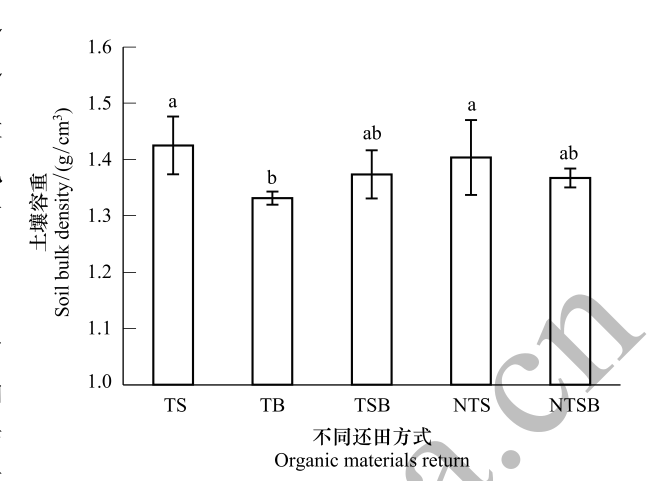


图 1 不同处理对砂质潮土土壤容重的影响

Fig.1 Effect of different treatments on bulk density in sandy soil

图中不同字母表示不同还田方式差异显著;TS:全量秸秆翻耕还田 Tillage combined with straw returning,TB:秸秆等碳量的生物炭翻埋还田 Tillage combined with biochar returning,TSB:半量秸秆半量生物炭配合翻耕还田 Tillage combined with half straw and half biochar returning,NTS:全量秸秆免耕覆盖还田 NO-tillage combined with straw returning,NTSB:半量秸秆半量生物炭配合免耕覆盖还田 No-tillage combined with half straw and half biochar returning

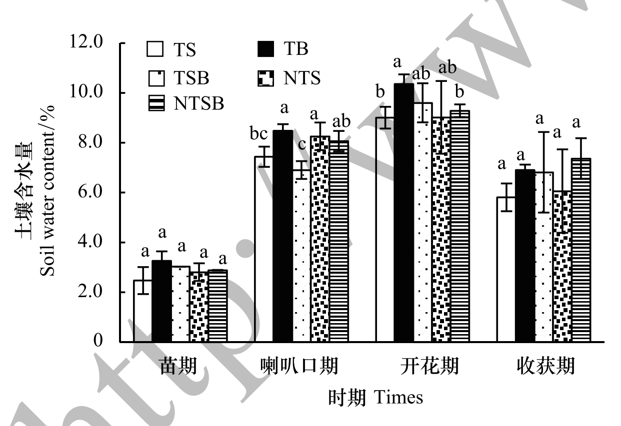


图 2 不同处理土壤玉米各生育期含水量

Fig.2 Effect of different treatments on sandy soil water content during growth period of maize

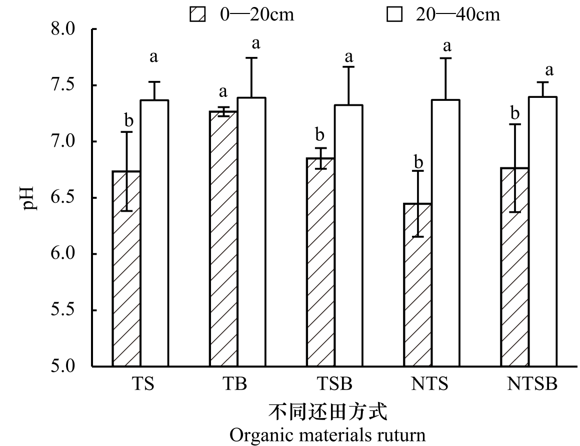


图 3 不同处理对砂质潮土 pH 值的影响

Fig.3 Effect of different treatments on sandy soil pH value

2.4 不同处理对砂质潮土团聚体结构的影响

不同处理对砂质土团聚体组成具有显著影响(表 1)。与常规翻耕处理 TS 相比,免耕措施的 NTS 和 NTSB,<0.25 mm 团聚体数量显著减少,>0.25 mm 大团聚体数量显著增加,以处理 NTSB 的大团聚体增加量最大。翻耕条件下施用生物炭处理的 TB 和 TSB 与 TS 相比都显著降低了大团聚的数量,分别比 TS 降低 21.2% 和 22.2%,它们大团聚体数量的降低主要体现在>2 mm 团聚体的减少。

表 1　不同处理对砂质潮土团聚体结构的影响

Table 1　Effect of different treatments on sandy soil aggregate variation

处理 Treatments	团聚体粒级质量分布 Quality percentage of serious soil aggregates/%					
	>5 mm	2—5 mm	1—2 mm	1-0.5 mm	0.5-0.25 mm	<0.25 mm
TS	25.79b	11.49a	3.29a	4.68a	11.11a	43.63c
TB	19.71c	9.84b	3.29a	4.86a	8.79ab	53.51ab
TSB	16.33d	9.71b	3.21a	4.33ab	10.25a	56.17a
NTS	32.40a	10.46a	3.73a	4.04b	6.47b	42.90c
NTSB	29.75a	10.21a	3.25a	4.55a	10.39a	41.86c

同列不同字母表示处理之间差异显著;TS:全量秸秆翻耕还田 Tillage combined with straw returning,TB:秸秆等碳量的生物炭翻埋还田 Tillage combined with biochar returning,TSB:半量秸秆半量生物炭配合翻耕还田 Tillage combined with half straw and half biochar returning,NTS:全量秸秆免耕覆盖还田 NO-tillage combined with straw returning,NTSB:半量秸秆半量生物炭配合免耕覆盖还田 No-tillage combined with half straw and half biochar returning

2.5　不同处理土壤团聚体分形特征

本研究土壤团聚体的分形维数范围是 2.40—2.67 之间变动(图 4)。NTS 和 NTSB 的土壤团聚体分形维数 *D* 最小为 2.40 和 2.46,且二者差异不显著。两个施用生物炭处理 TB 和 TSB 的土壤团聚体分型维数较高,分布为 2.62 和 2.67,显著高于常规还田处理 TS 与 TS 相比,秸秆免耕覆盖还田都能显著降低砂质潮土分形维数,翻耕施用生物炭反而能增加了砂质潮土团聚体分形维数。

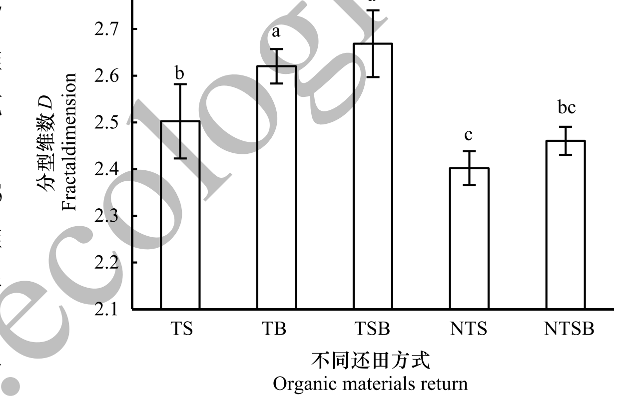


图 4　不同处理对砂质潮土分形维数的影响

Fig.4　Effect of different treatments on sandy soil Fractal dimension

2.6　不同处理对砂质潮土耕层有机质含量及分布的影响

不同还田方式显著影响砂质潮土耕层土壤有机质含量,见表 2。TB 与 NTSB 处理的有机质含量较高,与传统秸秆翻耕还田 TS 相比,有机质显著增加,分别增加 16.4%和 14.9%。处理 NTS 和 TSB 与 TS 相比有所增加,但是差异没有达到显著水平。由各级团聚体有机质含量分布可知,> 0.25 mm 大团聚体中有机质含量明显高于小团聚体,但是砂质潮土以<0.25 mm 团聚体占绝对优势,总体有机质含量均偏低。TB 和 NTSB 对有机质的提升主要体现在 0.5—2 mm,提升该粒径团聚体数量有利于提升砂质潮土有机质含量。

表 2　不同处理对砂质潮土有机质含量的影响

Table 2　Effect of different treatments on sandy soil organic matter content

处理 Treatments	有机质 Organic matter	各级团聚体有机质含量 Organic distribution in serious soil aggregates/(g/kg)					
		>5 mm	2—5 mm	1—2 mm	1-0.5 mm	0.5-0.25 mm	<0.25 mm
TS	11.14b	12.55ab	11.00c	16.20b	16.75b	8.65ab	6.34a
TB	12.97a	14.20a	18.47a	23.47a	24.47a	11.85a	7.88a
TSB	11.80ab	12.00b	16.35ab	17.60b	22.80a	10.60a	7.10a
NTS	11.58b	11.77b	12.77c	20.23ab	19.20ab	9.45ab	7.45a
NTSB	12.80a	13.40a	17.00ab	21.20a	22.70a	11.60a	7.37a

同列不同字母表示处理之间差异显著

2.7　不同处理对砂质潮土 0—40 cm 土层细菌基因拷贝数的影响

通过定量 PCR 分析,不同还田方式土壤细菌含量存在一定差异(图 5)。0—20 cm 土层 TB 细菌的 16Sr RNA 基因拷贝数最低为 7.49×10^8,与传统秸秆翻耕还田(TS)相比,降低 16.1%,TSB 数量与 TS 相比略高,但三者没有达到差异显著水平。而免耕模式的两个处理 NTS 和 NTB 与 TS 相比均显著增加,分别增加 53.7%和

42.2%。TB 处理降低了耕层土壤细菌数量,免耕还田处理均能显著增加砂质潮土细菌数量。20—40 cm 土层各处理细菌数量差异均不显著,数量上 TB 处理有所增加。

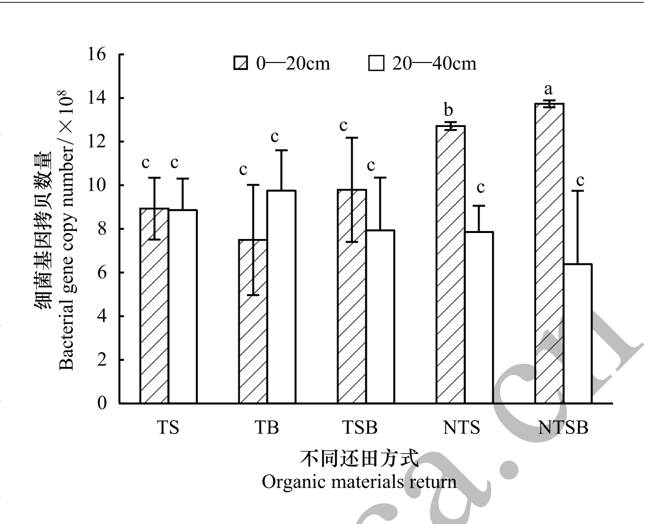


图 5 不同处理砂质潮土细菌 16S rRNA 基因拷贝数

Fig.5 Effect of different treatments on soil bacterial 16S rRNA gene copy number

3 讨论

容重是反映土壤紧实状况的主要物理指标,研究表明与传统翻耕相比,免耕能够增加耕层土壤容重[6,13],也有研究者认为免耕条件下耕层土壤容重较翻耕有所降低[5,14],除了耕作模式,土壤容重受土壤性质及环境影响较大。砂质潮土有机质含量低,矿物质含量高,容重大,本研究表明在该类土壤上,连续 3a 的免耕没有显著降低砂质潮土容重,而翻耕条件下施用与秸秆等碳量的生物炭能有效降低土壤容重。这与生物炭疏松多孔,物理性质稳定有很大关系,也有很多研究支持相应的结果[15-16]。

砂质潮土水分容量低是限制其生产力的重要障碍因素。生物炭能显著提高土壤水分含量,笔者之前在该类型土壤上进行施用梯度生物炭的研究,结果表明施用量越高,土壤水分含量越高[17]。有很多研究支持生物炭对土壤的保水效果[18]。Hansena[19]等人通过盆栽试验比较了秸秆生物炭对砂土和壤土的理化性质,发现添加生物炭对砂质土的保水性能更好。本研究玉米大喇叭口期和开花期水分含量较高,生物炭对砂质潮土水分的提高作用最明显,而在水分含量低的苗期,与传统耕作相比,免耕或添加生物炭处理都没有显著提高土壤含水量。因为生物炭本身偏碱性,本研究中添加生物炭显著增加了耕层土壤 pH 值,前人在其他类型土壤上的研究也获得相似的结论[20-21]。

土壤团聚体和微团聚体的分形维数可以表明土壤物理性质的好坏,根据其具有相似结构的多孔介质,关于土壤分形特征的研究认为,粒径分布的分形维数越小,土壤结构和稳定性越好,表明土壤大团聚含量较高,表征了相对越松散、通透性好的土壤结构性状。与前人研究一致,免耕有利于增加团聚体的稳定性[7],增加大于 0.25mm 大团聚体的数量[22]。研究发现秸秆配合生物炭覆盖对团聚体稳定性效果更好,生物炭或秸秆免耕覆盖处理都能显著降低土壤的分形维数,而生物炭翻耕还田反而增加砂质潮土分型维数,不利于团聚体的稳定。秸秆分解产生糖类、蛋白质、木质素等不同种类的有机质以及由于土壤中微生物活性提高而形成腐殖物,这些重要的有机胶结物质对大团聚体的形成及稳定产生了积极影响。生物炭与秸秆相比性质较为稳定,有报道认为高温碳化的生物炭其能在土壤稳定存在,通过^{13}C 稳定同位素试验表明,550℃高温碳化的生物炭能在土壤稳定存在上百年的时间[23],可以说短时间内生物炭的添加是一种物理的掺混效应,有报道通过砂姜黑土培养试验认为生物炭与秸秆配施能提高土壤大团聚体含量[24],在本研究中,翻耕模式下秸秆配合生物炭的大团聚体数量并没有增加,这可能和土壤及生物炭性质有很大关系。本试验用生物炭为 500℃高温制备,化学性质相对稳定,不易矿化,施入土壤能够提高土壤的有机碳含量。而免耕模式下的秸秆配合生物炭的改良效果,除了免耕措施的优势外,还综合了秸秆分解的生物化学效应和生物炭的掺混效应。

土壤微生物是反映土壤肥力的重要指标之一,因生物炭分解极为缓慢,施用后显著提升了土壤有机质含量,但生物炭中碳组分不能迅速为微生物所利用。本研究通过定量 PCR 的方法检测细菌含量,与全量秸秆翻耕还田相比,单纯添加与秸秆等碳量的生物炭反而降低了耕层土壤微生物数量,我们认为短时间内生物炭的添加体现的是一种物理的掺混效应,不能为微生物提供大量可利用碳源。韩玮等人的研究也获得类似的研究结果[25],添加生物炭与添加秸秆相比微生物生物量相对较低,有机碳的微生物分解率较低,应用生物炭更有

利于增加土壤碳储量。由于生物炭的生物质来源及加工途径的差异,造成不同生物炭 pH 值,吸附性,空间结构及表面积等理化结构的差异[26],可能影响土壤微生物的差异[21]。而免耕模式下无论是秸秆还是秸秆配合生物炭均能有效增加耕层土壤微生物数量,由此可见砂质潮土上耕作方式对细菌数量的影响大于物料类型,免耕模式下微生物数量的增加这也符合前人在各种土壤类型上的研究报道[3,27]。本研究只是在 3 年定位基础上进行的一季试验,该试验仍需要继续定位,获得更多的数据参数,指导砂质潮土培肥和地力提升。

4　结论

(1)与全量秸秆等碳量的生物炭翻耕还田(TB)显著降低了土壤容重,增加玉米各个生育期土壤水分和 pH 值,有效提升了有机质含量,但其并没有增加砂质潮土大团聚体数量和微生物数量。

(2)与传统秸秆翻耕还田相比,秸秆配合生物炭翻耕还田(TSB)除了显著降低了大团聚体数量,对其它理化及微生物指标的影响均不显著;而全量秸秆免耕覆盖(NTS)和秸秆生物炭免耕覆盖还田(NTSB)分别在玉米生长的喇叭口期和收获期显著增加了土壤水分含量,有效降低砂质潮土分形维数,提高了大团聚体数量和团聚体的稳定性,增加了耕层土壤的微生物数量,对容重和有机质含量有一定的改善,其中 NTSB 在对有机质提升和微生物数量增加方面效果最佳,对砂质潮土改善效果最佳。

(3)用等碳量的生物炭替代秸秆翻耕还田,在短期内更多的表现为物理的掺混效应,生物炭性质稳定,虽能有效提升土壤有机质含量,但不能有效改善砂质潮土的团聚体结构及微生物性质,在维持土壤生产力的前提下,推荐秸秆配合生物炭覆盖还田模式,此模式在一定程度上改善了砂质潮土物理化学性质,增加了细菌的数量。

参考文献(References):

[1] 孔祥旋, 寇长林, 孙克刚, 杨占平, 王恒宇. 砂质潮土水分特性研究. 干旱地区农业研究, 1999, 17(4): 98-104.

[2] Saffigna P G, Powlson D S, Brookes P C, Thomas G A. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. Soil Biology and Biochemistry, 1989, 21(6): 759-765.

[3] 区惠平, 何明菊, 黄景, 朱桂玉, 顾明华, 黎晓峰, 沈方科. 稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响. 生态学报, 2010, 30(24): 6812-6820.

[4] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 杨世琦, 赵沛义. 免耕对农牧交错带农田休闲期土壤风蚀及其相关土壤理化性状的影响. 生态学报, 2007, 27(9): 3778-3784.

[5] Mallory J J, Mohtar R H, Heathman G C, Schulze D G, Braudeau E. Evaluating the effect of tillage on soil structural properties using the pedostructure concept. Geoderma, 2011, 163(3/4): 141-149.

[6] Tebrügge F, Düring R A. Reducing tillage intensity-a review of results from a long-term study in Germany. Soil and Tillage Research, 1999, 53(1): 15-28.

[7] Kaschuk G, Hungria M, Santos J C P, Berton-Junior J F. Differences in common bean rhizobial populations associated with soil tillage management in southern Brazil. Soil and Tillage Research, 2006, 87(2): 205-217.

[8] Lehmann J, Rillig M C, Thies J, Masiello C A, Hockaday W C, Crowley D. Biochar effects on soil biota-a review. Soil Biology and Biochemistry, 2011, 43(9): 1812-1836.

[9] Singh R A. Soil physical analysis. New Delhi: Kalyani Publishers, 1980: 52-56.

[10] Suzuki M T, Taylor L T, DeLong E F. Quantitative analysis of small-subunit rRNA genes in mixed microbial populations via 5′-nuclease assays. Applied and Environmental Microbiology, 2000, 66(11): 4605-4614.

[11] Wang J T, Cao P, Hu H W, Li J, Han L L, Zhang L M, Zheng Y M, He J Z. Altitudinal distribution patterns of soil bacterial and archaeal communities along Mt. Shegyla on the Tibetan Plateau. Microbial Ecology, 2015, 69(1): 135-145.

[12] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征. 科学通报, 1993, 38(20): 1896-1899.

[13] 刘武仁, 郑金玉, 罗洋, 郑洪兵, 李伟堂. 玉米留高茬少、免耕对土壤环境的影响. 玉米科学, 2008, 16(4): 123-126.

[14] 余海英, 彭文英, 马秀, 张科利. 免耕对北方旱作玉米土壤水分及物理性质的影响. 应用生态学报, 2011, 22(1): 99-104.

[15] 陈红霞, 杜章留, 郭伟, 张庆忠. 施用生物炭对华北平原农田土壤容重、阳离子交换量和颗粒有机质含量的影响. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2930-2934.

[16] 刘园, Khan M J, 靳海洋, 白雪莹, 谢迎新, 赵旭, 王慎强, 王晨阳. 秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响. 土壤学报, 2015, 52(4): 849-858.

[17] 李培培, 韩燕来, 金修宽, 张万旭, 李慧, 汪强. 生物炭对砂质潮土养分及玉米产量的影响. 土壤通报, 2014, 45(5): 1164-1169.

[18] Wong J T F, Chen Z K, Chen X W, Ng C W W, Wong M H. Soil-water retention behavior of compacted biochar-amended clay: a novel landfill final cover material. Journal of Soils and Sediments, 2016: 1-9, doi: 10.1007/s11368-016-1401-x.

[19] Hansen V, Hauggaard-Nielsen H, Petersen C T, Mikkelsen T N, Müller-Stöver D. Effects of gasification biochar on plant-available water capacity and plant growth in two contrasting soil types. Soil and Tillage Research, 2016, 161: 1-9.

[20] 罗煜, 赵小蓉, 李贵桐, 赵立欣, 孟海波, 林启美. 生物质炭对不同 pH 值土壤矿质氮含量的影响. 农业工程学报, 2014, 30(19): 166-173.

[21] Peng X, Ye L L, Wang C H, Zhou H, Sun B. Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar: characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. Soil and Tillage Research, 2011, 112(2): 159-166.

[22] Hontoria C, Gómez-Paccard C, Mariscal-Sancho I, Benito M, Pérez J, Espejo R. Aggregate size distribution and associated organic C and N under different tillage systems and Ca-amendment in a degraded Ultisol. Soil and Tillage Research, 2016, 160: 42-52.

[23] Fang Y Y, Singh B, Singh B P. Effect of temperature on biochar priming effects and its stability in soils. Soil Biology and Biochemistry, 2015, 80: 136-145.

[24] 侯晓娜, 李慧, 朱刘兵, 韩燕来, 唐政, 李忠芳, 谭金芳, 张水清. 生物炭与秸秆添加对砂姜黑土团聚体组成和有机碳分布的影响. 中国农业科学, 2015, 48(4): 705-712.

[25] 韩玮, 申双和, 谢祖彬, 李博, 李玉婷, 刘琦. 生物炭及秸秆对水稻土各密度组分有机碳及微生物的影响. 生态学报, 2016, 36(18), doi: 10.5846/stxb201504220829.

[26] Luo Y, Durenkamp M, De Nobili M, Lin Q, Devonshire B J, Brookes P C. Microbial biomass growth, following incorporation of biochars produced at 350℃ or 700℃, in a silty-clay loam soil of high and low pH. Soil Biology and Biochemistry, 2013, 57: 513-523.

[27] Hungria M, Franchini J C, Brandão-Junior O, Kaschuk G, Souza R A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. Applied Soil Ecology, 2009, 42(3): 288-296.